

METASOMATISK DANNEELSE AF DE BORNHOLMSKE GRANITER – EN TEST

TOMMY JØRGART

JØRGART, T.: Metasomatisk dannelse af de bornholmske graniter – en test. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1972*, side 77–84. København, 4. januar 1973.

De indtil nu kendte kriterier på metasomatisk virksomhed formuleres og sammenholdes med de oplysninger, der foreligger for det bornholmske grundfjeld.

T. Jørgart, Roskilde Universitetscenter, Postbox 260, 4000 Roskilde, 5. oktober 1972.

Da Micheelsen (1960) foreslog, at de bornholmske graniter var dannet ved metasomatose tilsluttede de fleste sig uden videre ideen (f. eks. Noe-Nygaard, 1963). Selv var jeg på daværende tidspunkt ikke tilstrækkeligt øvet i videnskabelig tænkning og gjorde det samme.

Senere indtog jeg en mere kritisk holdning til ideen om metasomatisk dannelse af granitiske bjergarter. Jeg viste, at ingen af de argumenter Micheelsen forsvarede sin hypotese med, var uforenelige med en dannelse ved anatexis (Jørgart 1968a,b). Samtidig argumenterede jeg for, at den særlige zonaritet, som plagioklasen i alle de bornholmske graniter udviser, direkte peger på, at disse har været igennem et smeltet stadium (Jørgart, 1968, og i en populær fremstilling 1969). Andre forfattere udbyggede dette synspunkt med geokemiske modeller for den magmatiske udvikling af Hammer Graniten (Hansen 1970, Rønsbo 1970). Hverken Hansen, Rønsbo eller jeg selv fandt behov for en transformistisk forklaring på noget som helst, og vi gik vist og troede, at vi kunne slippe for ligefrem at modbevise hypotesen.

I 1970 begyndte Platou imidlertid at skrive om de bornholmske graniter (Platou 1970, 1971). Herved kom han til at behandle adskillige emner på en efter vor mening utilfredsstillende måde. Sammen med Hansen og Rønsbo formulerede jeg en protest mod Platous 1971-afhandling, som vi fandt alt for udokumenteret og ugennemarbejdet (Jørgart et al. 1971). Vi gav tre prøver, der skulle belyse Platous arbejdsfacon samtidig med, at vi antydede, at vi lå inde med gennemarbejdede og testede modeller for områder, hvor Platou stadig klarede sig med arbejdshypoteser. På denne måde kom vi ind på emnet metasomatose.

Platou mente tilsyneladende, at et grundfjeldsområde under dets dannelse

normalt udsættes for metasomatose, hvorfor dette også måtte være tilfældet med Bornholm. Vi gjorde herimod gældende, at geologens opgave er at anføre modeller, han har kriterier for, og vi nævnte eksempler på, hvordan vi selv havde handlet i overensstemmelse hermed. Vi bemærkede også, at vi ikke havde fundet kriterier for metasomatisk virksomhed på Bornholm, underforstået, at vi meget gerne hørte om kriterier for metasomatose, såfremt de fandtes.

I en afhandling, der angives at være et svar på vore indvendinger, skriver Platou (1972): »... det kan ikke være et argument imod tilstedeværelsen af metasomatose, at Jørgart et al. (1971) ikke har fundet kriterier for metasomatose«. Endvidere henviser Platou spørgsmålet om, hvorvidt metasomatose overhovedet eksisterer i forbindelse med dannelsen af granitoider, til Mehnert (1968), der går ind for dette. Endelig giver Platou en definition af metasomatose. Mere står der ikke her. Ingen kriterier er opregnet, ikke engang et forkert.

Ganske vist giver Platou en henvisning til to arbejder, hvoraf det »fremgår«, at metasomatose (sammen med anatexis) har været en aktiv geologisk proces under udformningen af det bornholmske grundfjeld. Men disse arbejder er skrevet af Platou selv, og der står efter min mening ikke noget, der kan forveksles med en videnskabelig teori. Det ene af disse arbejder (Platou 1971) er oven i købet det primære mål for den kritik Platou (1972) nu hævder at forsvare sig imod. Det er min vurdering, at man løber en risiko for, at Platou senere skal påberåbe sig dette tredje arbejde som yderligere dokumentation for påstanden om metasomatose på Bornholm.

Det er mit håb at kunne imødegå denne udvikling ved at gøre rede for den information, der eksisterer om metasomatose for herudfra at opstille de nødvendige kriterier til at udpege metasomatiske bjergarter eller komplekser. Det vil vise sig, at nogle af disse kriterier er betydeligt mere specifikke end de fleste forestiller sig, og det vil således være overkommeligt at konstatere, om metasomatose spiller nogen rolle i dannelsen af det bornholmske grundfjeld.

Den videnskabelige forskningsproces

Før jeg begynder på at behandle den metasomatiske model er det nok rimeligt at beskrive strukturen af den videnskabelige forskningsproces, således som filosoffer og videnskabsteoretikere fremstiller den (f. eks. Næss 1966). Det indledende trin kan betegnes som motiveringen (eller provokationen), og ingen særlige regler gælder herfor, selv om det almindelige tilfælde er, at der foreligger visse iagttagelser. Et udgangspunkt i tilstedeværelsen af nogle bornholmske graniter og gnejsjer eller visse strukturer i disse synes acceptabelt.

Det næste trin er opstillingen af en hypotese eller model, dvs. én eller

anden forklaring på iagttagelserne eller en slags ordning af disse. Her kunne man med Platou foreslå metasomatose som model for dannelsen af de bornholmske bjergarter eller deres strukturer. Herefter må man så udvikle sin model, dvs. definere dens indhold, specificere dens parametre og beregne dens virkning.

Det er nu et kendetegn for den naturvidenskabelige model, at den dels kan forklare de iagttagelser, den blev opstillet til at forklare, dels har nogle implikationer, dvs. medfører visse nye forudsigelser eller konsekvenser. Det følgende trin består i efterprøvning (testning) af modellen, dvs. man ser om naturen har de egenskaber, som modellen forudsagde. Hvis man ikke kan bekræfte modellen på denne måde, må man modificere eller forkaste den. Ovenstående fremgangsmåde kan vanskeligt reduceres, hvis produktet skal kunne betegnes som et naturvidenskabeligt arbejde.

Det er let at vise at Platous »model« lider af adskillige mangler. Den har ikke et sæt oprindelige iagttagelser at forklare, den er ikke udviklet på nogen måde og har følgelig heller ikke konsekvenser, der kan bruges som kriterier på modellens anvendelighed.

Metasomatose som model

I det følgende vil jeg prøve at gøre det, jeg mener Platou burde have gjort. Jeg forudsætter, at jeg ligger inde med visse iagttagelser, der har bragt mig på den tanke, at metasomatose kan have dannet de bornholmske graniter eller have medvirket dertil. Det første jeg nu må gøre er da at konkretisere, hvad vi taler om. På forhånd er jeg indstillet på at acceptere den bredest mulige formulering af metasomatose-begrebet således, at så vidt muligt alt det, der igennem tiden er kaldt metasomatose, medtages. Dette gør jeg delvis for at beskytte mig imod, at en evt. konklusion om, at metasomatose ikke er konstateret på Bornholm, kan mødes med den indvendig, at det skyldes, at jeg har afgrænset emnet for snævert (måske endda forsætligt på en sådan måde, at jeg får ret i påstanden). Altså må jeg formulere en meget bred definition.

Til alt held tilfredsstillende Platous definition dette krav næsten i fuldt omfang. Platou (1972) definerer metasomatose som »rekrySTALLISERING under materialetilførsel«. (Endnu bredere ville definitionen have været hvis der havde stået *materiale-transport*).

Nu er der bare det ved en så omfattende definition som denne, at den omfatter alt for meget, specielt processer, som ingen, såvidt mig bekendt, har kaldt metasomatiske. Jeg tænker her på magmatiske processer så som ufuldstændig assimilation. (Hvis der havde stået *materiale-transport* ville også visse former for magmatisk fraktionering have været inkluderet). I den

følgende specificifikation af modellen er det nødvendigt at tage stilling til dette problem.

Definitionen omfatter nødvendigvis også diffusion og chromatografisk transport. Diffusion er vel en proces, der er kendt af alle. Kendskabet til chromatografisk transport er måske mindre udbredt, men det er ikke desto mindre en velundersøgt proces. Princippet er, at en opløsning der bevæger sig igennem et porøst materiale, som den ikke er i ligevægt med, vil udveksle sine opløste stoffer med materialet. Udvekslingen mellem opløsningen og det faste materiale kan bestå i alt fra adsorption til egentlig kemisk reaktion. Jeg tror at de fleste geologer vil give mig ret i, at vi med diffusion og chromatografisk transport utvivlsomt er inde på områder, der hører til problemkredsen omkring metasomatose. I virkeligheden er det meget sandsynligt, at der ikke er andre processer involveret end netop de to nævnte. Korzhinskii (1968, 1970) skelner således kun mellem diffusionsmetasomatose og infiltrationsmetasomatose, den sidste equivalent med det, der oven for blev omtalt som chromatografisk transport. Hvis man fik lyst til at indvende, at jeg nu rent faktisk har indsnævret emnet utilladeligt, vil jeg bemærke, at denne indsnævring ligger implicit i formuleringen af modellen. Det står Platou eller enhver anden frit for at foreslå andre transportmekanismer, men hvis sådanne forslag skal accepteres eller kommenteres af mig, må de være fysisk realistiske. I øjeblikket kender jeg simpelthen ikke andre relevante transportmekanismer, så indtil dette hypotetiske udspil foreligger, vil vi altså kunne betragte metasomatiske processer som en kombination af diffusion og infiltration. På grund af disse betegnelser veldefinerede indhold er det berettiget at udskyde specificeringen af opløsningens karakter, det vil sige om den er fortyndet eller koncentreret. Herefter er det vigtige trin: formuleringen af en model afsluttet.

Næste fase består i at udlede modellens konsekvenser. Udledningen skal vi ikke gå så dybt ind i af pladshensyn. Der er to linier man kan følge (Korzhinskii 1968, 1970, Hofmann, 1972), men begge medfører det samme resultat på to vigtige punkter:

- 1) Metasomatose fører uundgåeligt til samtidig dannelse af forskellige bjergarter i flere skarpt adskilte zoner.
- 2) Metasomatose fører til reduktion i antallet af co-existerende faser i de enkelte bjergarter (zoner), og hvis processen går på i tilstrækkelig lang tid vil monomineralske bjergarter opstå.

Disse konsekvenser af metasomatisk virksomhed vil i et granitisk subsystem med K_2O , H_2O , Al_2O_3 og SiO_2 (det sidste i overskud) betyde, at der udvikles tre zoner, der for eksempel kan bestå af henholdsvis andalusit, muskovit og kalifeldspat.

For læsere med kendskab til chromatografi er disse konsekvenser ingen nyhed. I en chromatografisk søjle, hvor opløsning hældes i foroven vil de forskellige opløste stoffer adsorberes i zoner ordnet i rækkefølge efter faldende adsorberbarhed. Således følger både 1) og 2) heraf på temmelig direkte måde (se Jensen 1959, 754 ff). Det vigtige er i denne forbindelse, at der ikke ændres noget fundamentalt ved at erstatte adsorption med kemisk reaktion, sådan som det vil være tilfældet i naturens bjergarter.

Metasomatiske bjergarter

Bjergartskomplekser med en zonal opbygning er kendt i naturen. Hvis man om disse påstår, at de er dannet ved metasomatose, er dette i overensstemmelse med modellen på dens nuværende trin. Blandt de typiske granitagtige metasomatiske bjergarter er greisen. Det er i det væsentlige bi-mineralske bjergarter bestående af kvarts og et eller andet aluminiumsilikat f. eks. muskovit, Li-glimmer eller topas. Associationen, dens zonale opbygning og de få faser peger på en metasomatisk oprindelse ud fra en oprindelig normal granit (Korzhinskii 1966, p. 834). Mindre ekstrem zonalitet («fronter») i graniter er kendt og tolkes af Hofmann (1972) som opstået ved metasomatose.

Bjergartskomplekser med zonal opbygning er ikke kendt fra Bornholm, og det er derfor ikke enhvers ret at mene, at metasomatose har spillet nogen rolle ved dannelsen af det bornholmske grundfjeld. Muligvis kan man forvente at en eller anden vil hævde, at metasomatose nu alligevel har været medvirkende, blot i så ringe grad, at man ikke har fundet sporene. Hvis det sker, vil det ikke blive kommenteret af mig, hvilket ikke er det samme som, at jeg accepterer det.

Ingen andre strukturelle kriterier end ovenstående er nogensinde blevet udledt som konsekvenser af metasomatose, specielt ingen, der kan oplyse om en given bjergartsprøve evt. er metasomatisk påvirket. Dette er ikke det samme som at sige, at sådanne konsekvenser ikke kan udledes under passende realistiske forudsætninger om uligevægt eller, hvad man nu kan foreslå. Det må imidlertid være op til mere forhåbningsfulde personer at udlede sådanne strukturelle konsekvenser og påvise deres tilstedeværelse i bornholmske grundfjeldsbjergarter.

Opløsningens tilstand

Som tingene er fremstillet her er der ikke gjort forsøg på at specificere opløsningens tilstand. Det er en konventionel indsnævring at begrænse metasomatose til at omfatte infiltration og diffusion af fortyndede opløsninger. De

udledte konsekvenser gælder imidlertid i princippet også for mere koncentrerede smelter. Man skal bare ikke forestille sig, at der udvikles en zonal opdeling ved at en cotektisk eller eutektisk smelte transporteres igennem en bjergart. Det er nemlig en vigtig forudsætning for teorien, at eksterne forhold bestemmer opløsningens tilstand, idet drivkraften til transporten og evnen til at ændre sammensætningen af den invaderede bjergart ellers mangler. Umidledbart synes det mest sandsynligt, at fortyndede opløsninger kan tilfredsstille dette krav, men forholdene kan sagtens tåle at blive undersøgt yderligere.

Transmagmatiske opløsninger

I almindelighed anser de fleste forskere transportteorier for unødvendige, fordi sammensætningen af naturens bjergarter i stort omfang viser overensstemmelse med eksperimentelt kendte smelters sammensætning (f. eks. Tuttle et al. 1958). Denne omstændighed er anerkendt af de mest kompetente forskere af metasomatose. Korzhinskii (1970, p. 149) skriver direkte, at bjergarternes mineralindhold »cannot be explained as the heritage of the content of the most inert components after metasomatic replacement of the original rock. This shows that the ideas of transformists concerning the metasomatic origin of granites are erroneous«.

Hvis man på den anden side som Korzhinskii er meget glad for transportteorier er det muligt at holde fast ved nogle af principperne. For at forebygge, at Platou skulle forlænge diskussionen ud i dette overdrev refereres nogle af Korzhinskiis ideer desangående.

Korzhinskii (1971) mener at graniter stort set er magmatiske, men han vægrer sig ved at anerkende anatexis som generel forklaring. Han indfører i stedet »the concept of granitization as a magmatic replacement effected by streams of ascending «transmagmatic« solutions«.

For en gangs skyld beskriver han imidlertid sin model meget unøjagtigt. Vi får at vide, »at de «transmagmatiske opløsninger« er vandige opløsninger med »stabile« koncentrationer af alkali-metaller, volatiler og små mængder af andre ting. De kommer fra et magma og infiltrerer en sidesten, som de smelter, og under deres videre opstigning medfører de metasomatiske omdannelser. Korzhinskii kan ikke specificere nogen egentlig mekanisme, der kan transportere opløsningerne gennem magmaet, men snakker om, at »of decisive importance is a macro- or micro-heterogeneity of magma with generation of spurts or of bubble streams of supercritical solutions« (Korzhinskii 1971, p. 58). Det er klart, at det kan blive meget vanskeligt at udlede konsekvenser af en så uspecificeret model, men Korzhinskii selv mener, at der må være tale om en variant af infiltrationsmekanismen.

Transmagmatiske opløsninger virker derfor ligesom metasomatiske opløsninger, med den forskel, at reduktionen af antallet af faser sluttelig fører til stabilisering af en enkelt fase, som ikke er et mineral, men et homogent magma (Korzhinskii 1960, p. 164). Det er klart, at det på denne måde udviklede hypotetiske granitiske magma må størkne med de sædvanlige mange faser, men denne forøgelse af antallet af faser er sekundær. Kriteriet på, om en normal granit er dannet ved transmagmaiske opløsninger, er tydeligvis, om den er omgivet af metasomatiske bjergarter, dvs. bjergarter i zonalt arrangement og med et ringe antal primære faser i de enkelte zoner. Der er altså ingen smutvej ud her for fanatiske metasomatikere.

Afslutning

Jeg håber, at det står klart for læseren, at den her anvendte argumentation er principielt forskellig fra den, Platou benytter sig af. Jeg har ganske vist kun benyttet et mindstemål af selvstændige overvejelser, men disse viser i alle tilfælde hen til uddybende artikler, som man ikke kan undlade at tage stilling til, hvis man vil beskæftige sig med emnet på et videnskabeligt plan. Jeg vil sluttelig anføre tre regler, man kan holde sig til, hvis man vil undgå den værste pseudo-videnskab.

- 1) Introducer kun hypoteser som er strengt nødvendige («Entia non sunt multiplicanda praeter necessitatem» af Occam, ca. 1340).
- 2) Test altid de opstillede hypoteser. Hvis en test ikke lader sig anwise er hypotesen en såkaldt ad-hoc-hypotese og bør forkastes (bl. a. ud fra 1).
- 3) Husk, at geologiske processer og andre processer i naturen er fysisk-kemiske af natur. Specificer derfor så vidt muligt modeller i fysiske og kemiske parametre.

Hvis hypotesen om transformistisk dannelse af graniter skulle have overholdt disse krav, var den aldrig blevet opstillet. Og det havde vist ikke været nogen skade til.

Litteratur

- Hansen, P. 1971: *Om Vang-granit, Hammer-granit, apliter og pegmatiter og disse bjergarters magmatiske oprindelse*. Eksamensopgave. Københavns Universitet.
- Hofmann, A. 1972: Chromatographic theory of infiltration metasomatism and its application to feldspars. *Am. J. Sci.* 272, 69-90.
- Jensen, K. A. 1959: *Almen Kemi*. 2 Bind. Gjellerup.
- Jørgart, T. 1968 a: *Feldspats forekomstmåde og mineralogiske egenskaber i Hallegaard-granit og andre bornholmske graniter*. Upubliceret prisopgave. Københavns Universitet.

- Jørgart, T. 1968 b: *Hallegaard-granitens petrologi*. Upubliceret eksamensopgave. Københavns Universitet.
- Jørgart, T. 1969: Prækambrium. I: *Geologi på Bornholm. Varv ekskursionsfører nr. 1*, 3–22.
- Jørgart, T., Hansen, P. & Rønsbo, J. 1971: Kritiske bemærkninger til foredragsreferat: Om grundfjeldet på Bornholm, af S. W. Platou. *Dansk geol. Foren. Årsskrift for 1970*, 88–89.
- Korzhinskii, D. S. 1960: Acidity-alkalinity in magmatic processes. *Int. geol. Congress. Report of the 21. session, Norden. Part 21*, 160–170.
- Korzhinskii, D. S. 1966: On thermodynamics of open systems and the phase rule. (A reply to D. F. Weill and W. S. Fyfe). *Geochim. et Cosmochim. Acta* **30**, 829–835.
- Korzhinskii, D. S. 1968: The Theory of Metasomatic Zoning. *Mineralium Deposita* **3**, 222–231.
- Korzhinskii, D. S. 1970: *Theory of Metasomatic Zoning*. Oxford: Clarendon Press.
- Korzhinskii, D. S. 1971: Streams of transmigmatic solution and processes of granitization. *Pacific Geology* **3**, 57–65.
- Mehnert, K. R. 1968: *Migmatites and the origin of granitic rocks*. 393 pp. Elsevier.
- Micheelsen, H. I. 1961: Bornholms Grundfjæld. *Meddr dansk geol. Foren.* **14**, 308–349.
- Noe-Nygaard, A. 1963: The Precambrian of Denmark. I: Rankama, K. (ed): *The Precambrian* **1**, 1–24. Interscience Publishers.
- Næss, A. 1966: *Metodelære, en innføring*. Munksgaard. [Et uddrag af A. Næss: Logik og Metodelære. Universitetsforlaget. Oslo.]
- Platou, S. W. 1970: The Svaneke granite complex and the gneisses on East Bornholm. *Meddr dansk geol. Foren.* **20**, 93–113.
- Platou, S. W. 1971: Om grundfjeldet på Bornholm. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1970*, 54–63.
- Platou, S. W. 1972: Om anatexis og metasomatose på Bornholm. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1971*, 1–4.
- Rønsbo, J. 1971: *En petrologisk undersøgelse af Hammer graniten ved Olsker*. Eksamensopgave. Københavns Universitet.
- Tuttle, O. F. & Bowen, N. L. 1958: Origin of granite in the light of experimental studies in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8\text{-KAlSi}_3\text{O}_8\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$. *Geol. Soc. Am. Mem.* **74**, 153 pp.